中華農業研究 (Jour. Agric. Res. China) 40(3):351~363 (1991)

氣象預測模式之測試分析[1]

陳琦玲[2] 漆匡時[2] 林正鋐[3]

摘要：日氣象資料爲許多應用與評估工作不可缺少的資訊。WGEN 與 WMAKER 皆是由美國農業研究人員發展出來之日降雨量、日射量、最高溫與最低溫等四項氣象資料之預測模式。本報告以臺中縣霧峰鄉臺灣省農業試驗所1982—1990年九年與前五年資料爲例，進行模式本土化模擬測試與預測能力評估。以統計 t-test 進行模式模擬值與實測值月平均及年平均之比較，結果顯示 WGEN 對前述四項氣象變數之模擬相當具有代表性，預測能力亦優於 WMAKER。WMAKER 尤其對日射量的模擬準確度甚差。WGEN 對日降雨量、日射量及溫度等氣象變數之模擬與預測的準確性，以溫度最佳，日射量居中，降雨量則因實際天氣的變異較大，模式較難掌握，但若以月或年平均降雨量爲測試單位，則模擬值仍具代表性。測試結果亦顯示以5年的資料爲統計依據，模式雖可模擬日射量與溫度之主要季節變化，但要確實的掌握每日氣象變數的變異，以提高預測的準確性，則需要更長的實測氣象資料爲統計基礎。總言之，以九年的氣象資料爲統計依據，引用WGEN作爲氣象變數之預測模式，以應用於霧峰地區作物生產潛量之評估應是可行的。

關鍵詞：WGEN，WMAKER，氣象模式，氣象預測。

日氣象資料在許多方面的應用上都伴演著重要的角色，例如在水利工程的設計、集水區水文、水質和土壤冲蝕評估、農業生產管理與農地資源規劃方面，都需要此一資料的協助。僅針對過去的氣象資料進行分析，對某些方面的評估還是不夠的，爲配合各種評估模式的應用及提供附近未設測候站地區的相關氣象資料，模式化多年的氣象資料，以整合龐大的氣象資料並預測未來可能的氣象變數實有其必要性。

目前在國內，林等 (1990) 曾發展簡易的氣象模式來預測日氣象資料，測試過的項目有平均溫度、最低溫度、平均蒸氣壓、日射量、平均風速等五個項目。此模式的特性在於保有原觀測值之發生機率、平均分佈及變異範圍，但預測的過程並沒有考慮其他因子的相互關係，如雨天的氣溫可能下降等。在國外亦有許多能預測日氣象變數的模式發展出來 (Jones et al., 1972; Bond, 1979; Nicks and Harp, 1980; Bruhn et al., 1980; Larsen and Pense, 1981)，這些模式都是根據嚴謹的統計理論設計而成，但對於一般性的應用與使用上簡便而言，則以WGEN (Weather Generator, Richardson and Wright, 1984) 與WMAKER (Keller,1982,1987) 較優。由以上二個模式所預測的氣象變數分別爲日降雨量、日射量、最高溫和最低溫，都是作物生理發展與生產之重要氣象因子。因此，國外一些模擬作物生長與預測產量的模式，如美國 IBSNAT 計畫 (International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer) 中之農業技術轉移決策輔助支援系統 (DSSAT) 的作物模式，均採用此二種氣象預測模式，德州農業試驗研究人員發展的EPIC (Erosion-Productivity Impact Calculator) 模式，亦採用WGEN作爲日氣象變數的預測模式。

1. 臺灣省農業試驗所 研究報告第 1589 號。本研究承蒙農業委員會補助經費，計畫編號81農建—12.2—林—07 (3)，謹此致謝。

2. 臺灣省農業試驗所農化系、農工系助理。
3. 國立中興大學土壤研究所教授。

由於 WGEN 與 WMAKER 都以歷年的資料作爲統計的依據，爲使模式能確實掌握氣象的變化與形態，輸入愈多年的氣象資料，將使模式的對未來的預測愈能接近眞正的氣象變數。亦有學者提出在實際進行氣象資料分析時，最好能有30年的資料作爲依據較具代表性（Finklin, 1983）。根據 Richardson and Wright（1984）的建議，爲使 WGEN 模式將來每天的氣象變數預測值可以代表該地區的實際氣象，在雨量方面應至少有20年的記錄，尤其在乾旱地區甚至需要更長的記錄，而溫度和日射量方面則應至少有10年的記錄，作爲估算模式氣象參數之基本資料。他們亦選擇美國幾個不同氣象條件之氣象站30年的氣象資料，完成了模式的校正與驗證工作。IBSNAT計畫之DSSAT作物模式應用，基於最少數據組的規劃，要求必須要有至少 5 年的氣象資料，作爲模式統計之基本資料。

由於農試所氣象站自有觀測以來僅有九餘年的氣象資料，本報告的目的，在測試以不同年數的氣象資料爲統計依據時，WGEN 和 WMAKER 對於模擬與預測霧峰鄉氣象變數的適用性。以便將來繼續以上述測試方法，進行模式對臺灣主要氣候型區農業測候站之長期氣象形態的本土化模擬測試，以完成全省區域性氣象資料模式化規劃與建檔，方便全面農地資源評估與規劃之工作。

材料與方法

一、氣象記錄資料

模式測試之氣象資料來源爲臺中縣霧峰鄉臺灣省農業試驗所氣象站（北緯24°02′，東經120°40′，海拔高度爲85公尺）的記錄資料。農試所從臺北遷至霧峰鄉後，自民國71年元月1日開始有氣象觀測與記錄。在日射量方面的量測，從民國78年7月1日起始有日射量的記錄，在此之前則只有日照時數記錄，因此根據臺灣地區日照量與日射時數之相關迴歸式（此公式將於另文討論），按每日日照時數轉換成每日日射量，作爲模式輸入資料。另外，民國75年8月22日韋恩颱風來襲，氣象站的日照時數測定儀器損害一直未能修復，因此，自75年8月22日起至12月31日，都引用大里鄉菸葉試驗所氣象站（北緯24°05′，東經120°41′，海拔高度爲77.1公尺）的氣象資料。兩處氣象站直線距離約7公里，附近皆爲平地。

二、模式使用說明

有關 WGEN 和 WMAKER 模式理論，請參考有關文獻（Richardson, 1981, 1982, Richardson and Wright, 1984 and Keller, 1982, 1987）之論文，本文不再重述。模式日氣象資料的產生過程係先以多年實測的氣象項目，估算模式的系統參數，如表一和表二，再根據這些參數值及統計的經驗式，預測未來每日可能的氣象變數。WGEN 與 WMAKER 所需要估算氣象參數的基本資料分別說明如下：

(一)WGEN：

(1)測候站的經、緯度

(2)至少五年的每日降雨量（mm）、日射量（MJ/m²/day）、最高溫（°C）和最低溫（°C）

(二)WMAKER：

(1)測候站的經、緯度

(2)至少五年全年的各項氣象月平均資料：

①日平均潛蒸發散量（Potential ET）及標準偏差（mm/day）

②日平均溫度及標準偏差（°C/day）

③月平均降雨天數及標準偏差（days/month）

④月平均降雨量及標準偏差（mm/month）

WMAKER 亦可直接輸入日氣象記錄再換算成上述之平均資料。

結果與討論

根據上述模式所需之資料及格式，輸入農試所1982—1990年的每日降雨量、日射量、最高溫和最低溫，則 WGEN 與 WMAKER 可分別產生如表一和表二之氣象參數檔，有了氣象參數檔後，即可預測多年的日降雨量、日射量、最高溫和最低溫的氣象資料。爲測試 WGEN 與 WMAKER 應用於霧峰地區氣象變數預估之適用性，分別以1982—1990年九年及1982—1986年五年的實測值作爲模式參數估算的基本資料，進行模式的模擬測試與預測評估。

表一、WGEN 氣象參數檔內容及說明

Table 1. Weather coefficient file and file line descriptions for WGEN

CHL18209WGEN (24.03N, 120.67E) Used 9 years of input data												
24.03	120.67	2 0										
.434	.671	.651	.554	.622	.612	.551	.595	.519	.273	.522	.375	P(W/W)
.132	.179	.191	.225	.232	.279	.273	.288	.183	.026	.053	.085	P(W/D)
.613	.585	.727	.580	.613	.583	.523	.492	.555	.888	.558	.740	ALPHA
10.47	17.91	13.81	28.09	30.59	37.99	30.70	46.34	30.55	4.03	15.48	7.67	BETA
	28.7482		− 4.9626		− 2.4483		− .3006		− .3945			
	2.2502		1.0146		.7414		− .1166		− .0124			
	26.2843		− 5.7485		− 3.0493		− .0820		− .2030			
	3.0686		.7281		.7340		− .3465		.0513			
	18.5290		− 6.1070		− 2.3539		− .8827		− .1402			
	2.2216		.9179		.4334		− .0992		− .0910			
	15.7163		− 3.6207		.1126		− .6777		.5122			
	3.5459		.4865		.4459		− .2900		.0614			
	10.7130		− 3.6640		− .7486		− .0555		.8951			
	4.0317		− .8865		− .0368		− .2907		.2595			
22.3	21.9	23.7	27.0	30.0	31.9	33.6	32.8	31.9	30.4	27.4	23.6	
11.4	13.0	14.9	18.3	21.5	23.2	24.2	24.3	22.9	20.3	16.3	11.6	

File line descriptions

Line 1 : Description of the source/site of weather date and number of years used in estimating coefficients.

Line 2 : Latitude in degrees.
Longitude in degrees.
Temperature correction factor code(KTCF):
0-No temperature correction.
1-If same correction factor for maximum and minimum temperature.
2-If independent correction factor for maximum and minimum temperature.
Precipitation correction factor(KRCF):
0-No precipitation correction.
1-precipitation correction.

Line 3 : 12-monthly probability of rainy day given a rainy day on previous day.

Line 4 : 12-monthly probability of rainy day given a dry day on previous day.

Line 5 : 12-monthly values of gamma distribution shape parameter.

Line 6 : 2-monthly values of gamma distribution scale parameter.

Line 7 : Five coefficients of two harmonic Fourier series for maximum temperature on dry days.

Line 8 : Five coefficients of two harmonic Fourier series for standard deviation of maximum temperature on dry days.

Line 9 : Five coefficients of two harmonic Fourier series for maximum temperature on rainy days.

Line 10 : Five coefficients of two harmonic Fourier series for standard deviation of maximum temperature on rainy days.

Line 11 : Five coefficients of two harmonic Fourier series for minimum temperature on dry and rainy days.
Line 12 : Five coefficients of two harmonic Fourier series for standard deviation of minimum temperature on dry and rainy days.
Line 13 : Five coefficients of two harmonic Fourier series for solar radiation on dry days.
Line 14 : Five coefficients of two harmonic Fourier series for standard deviation of solar radiation on dry days.
Line 15 : Five coefficients of two harmonic Fourier series for solar radiation on rainy days.
Line 16 : Five coefficients of two harmonic Fourier series for standard deviation of solar radiation on rainy days.

NOTE : This will be the end of this file unless KTCF and/or KRCF have deen assigned non-zero values.

If KTCF=1,
Line 17 : 12-monthly values of actual mean temperature.

If KTCF=2,
Line 17 : 12-monthly values of actual maximum temperature.
Line 18 : 12-monthly values of actual minimum temperature.

If KRCF=2,
Line 18 or
Line 19 : 12-monthly values of actual mean precipitation in mm.

表二、WMAKER 氣象參數檔內容與說明

Table 2. Weather coefficient file and file line descriptions for WMAKER

CHL18209WMAKER (24.03N, 120. 67E) Used 9 years of input data
24.03 120.67

2.579	.286	16.846	1.073	5.778	3.153	36.678	28.369
2.786	.649	17.485	1.219	9.444	6.894	98.922	126.517
3.345	.467	19.299	1.167	11.333	4.717	113.711	71.925
3.991	.694	22.635	.998	10.111	4.428	164.822	163.462
4.616	.457	25.761	.671	11.444	4.799	214.544	108.443
4.889	.598	27.526	.236	12.667	3.674	280.611	151.667
5.405	.481	28.876	.567	11.778	1.481	189.278	144.788
5.261	.816	28.534	.485	12.889	5.302	293.978	195.867
4.926	.632	27.371	.440	8.444	4.157	143.300	120.416
4.331	.310	25.371	.615	1.111	.928	3.978	5.089
3.168	.293	21.846	1.237	2.778	2.682	23.967	32.690
2.494	.189	17.602	.765	3.667	1.581	20.811	21.110

8.000000E-01 2.000000E-01

File line descriptions

Line 1 : Description of the source/site of weather data and number of years used in estimating coefficients.
Line 2 : Latitude in degrees.
Longitude in degrees.
Line 3-14 : Each line of lines 3 through 14 contains the following data for each month of the year starting with January and ending in December.
Mean potential evapotranspiration (ET, mm/day).
Standard deviation of potential ET (mm/day).
Mean monthly temperature (degree C/day).
Standard deviation of mean temperature (degree C/day).
Mean rainy days (days/month).
Standard deviation of rainy days (days/month).
Mean monthly rainfall (mm/month).
Standard deviation of monthly rainfall (mm/month).
Line 15 : This line contains two constants for the ratio of solar radiation at the earth's surface to that of the radiation above the atmosphere for the site. The first constant is the maximum ratio and second constant is the minimum ratio.

一、WGEN 與 WMAKER 之模擬測試

以農試所測候站1982—1990年的氣象資料所估算之 WGEN 與 WMAKER 氣象參數檔，分別預測九年的氣象變數作爲1982—1990年之氣象模擬值，經過統計後之降雨量、降雨天數、降雨達15 mm 以上之日數、日射量、最高溫、最低溫的月平均值和年平均值及其相對偏差與實測值之比較如表三。圖一至圖八並分別將實測值及模擬值以月或週平均值同時顯示出來，作爲比較。由統計 t-test 的結果顯示，以月平均及年平均爲基準作比較，表三中未標注星號之 WGEN 模擬值與實測值間都未達統計上的5%顯著差異水準，表示其模擬值可相當代表實測值。而 WMAKER 則較差，特別在日射量的模擬，除二月份以單一星號標注達5%的顯著差異水準外，其餘各月份及年平均都已達雙星號標注之1%極顯著差異水準，即表示 WMAKER 日射量的模擬值均不能代表實測值，由圖三與圖四可看出 WMAKER 模擬的日射量都保有全年各月份，甚至各週之變化趨勢，但平均值都提高了 2－4 MJ/m²/day。可能在模式系統參數，如各緯度之地表面與大氣層表面日射量之最高和最低比率，經過調整後，模擬值會較趨於實測值。而在 WGEN 的模擬，則有準確的結果。另外，WMAKER 對雨量達15mm以上的下雨天數之模擬，五、六及八月的月平均及年平均，亦達統計之顯著差異水準，此顯示 WMAKER 對於年平均降雨量的預測雖具代表性，但對單日降雨量分佈的預測則準確度較差。在溫度方面，也有部份月份的模擬不盡理想，如最高溫七、八、十及十二月之月平均，最低溫八、九、十及十二月份之月平均，亦達統計之顯著差異水準，但年平均值則在統計可接受之範圍內。這些情形在WGEN則未出現，再次顯示在應用於霧峰地區氣象模擬方面，WGEN優於WMAKER。

由圖一～圖八所繪製之 WGEN 與 WMAKER 預測之九年降雨量、日射量、最高溫和最低溫之月平均及週平均與實測氣象變數之比較圖，可明顯看出在分析過程中，以月平均爲單位來比較其間差異時，所得的結果較週平均趨近實測值，若以單日變數爲比較單位則差距更大，此顯示以長時期的平均值作比較，會使模擬值趨近於實測值，表示模式雖然不能很準確的模擬每天的氣象，但可掌握長時期的氣象變化週期形態。雖然在實際農業田間管理作業上以及作物生長與生產模擬時仍需要每日的氣象資料（林等，1990），然長期使用單日資料模擬作物生產，雖然不可避免氣象模擬值之單日變異差距，但長期性模擬可能會使模式反應具有互補作用，以致於所得作物生產模擬結果具有一致性，這一論點有待進一步分析驗證。

比較不同氣象項目模擬值與實測值之變異，由表三中列出的農試所1982—1990年九年的全年月平均降雨量，降雨日數，雨量達15mm以上的降雨日數，日射量，最高溫和最低溫的相對偏差（C.V.）分佈範圍分別爲0.5-1.36，0.13-0.97，0.55-1.98，0.07-0.21，0.02-0.08，0.02-0.15顯示，全年各月降雨量與降雨天數的變異最大，日射量次之，而溫度最小，此表示溫度分佈的分散性較小，即實際溫度的季節變化較規律，單日不同年度的變異亦較小，因此模式較能掌握，模擬結果甚佳（圖五～圖八）；雨量則因實際天氣之變化較大，因此模式就較難掌握，故以週平均（圖二）或單日爲比較單位則模式模擬不佳，惟以較長時期爲單位之平均值模擬表現良好，如月平均降雨量與年平均降雨量之模擬值趨近實測值（圖一）。總言之，除了 WMAKER 對日射量的模擬明顯有差異外，WGEN 與 WMAKER 對日降雨量，日射量和溫度的模擬，以溫度最爲準確，降雨量最差，而日射量則居中。

由表三中各氣象變數實測值與模擬值全年月平均的相對偏差亦顯示，雖然由於實際降雨量與降雨日數的變異較大，使模式單日模擬值較不準確，但 WGEN 與 WMAKER 在降雨方面的模擬仍保有原測值的變異大小和範圍。而在日射量和溫度的模擬，則除了 WMAKER 對日射量的模擬較不準確外，WGEN 亦較WMAKER 能掌握變數原來的變異大小和範圍，WMAKER 之日射量和溫度模擬值的變異均明顯偏低，此表示 WMAKER 較不能掌握氣象變數可能出現的變異，只能模擬氣象變數的週期形態與趨勢。另外，在全年度溫度的週期變化，以夏天（七、八、九月）的平均相對變異大小，而冬天的平均相對變異較大，WGEN 也表現了此一特性。

表三、農業試驗所測候站實測值與 WGEN 及 WMAKER 預測值比較

TABLE 3. Comparison of the generated data by WGEN and WMAKER with the observed weather data at Taiwan Agricultural Research Institute.

	JAN.	FEB.	MAR.	APR.	MAY	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.	ANN.
PRECIPITATION													
AMOUNT													
MEAN (mm)													
TARI	36.68	98.62	113.18	164.93	214.87	279.84	186.67	297.64	143.41	3.98	23.97	20.47	1,584.26
WGEN	27.00	86.13	122.96	160.97	193.07	360.49	197.78	363.53	176.89	2.22	15.62	25.48	1,732.13
WMAKER	38.62	83.49	110.46	140.76	277.94	299.09	196.50	272.80	161.27	3.24	29.77	25.12	1,639.06
C.V.													
TARI	0.77	1.29	0.64	0.99	0.50	0.54	0.78	0.66	0.84	1.28	1.36	1.04	0.18
WGEN	0.84	0.65	0.39	0.52	0.67	0.75	0.69	0.59	0.47	1.40	0.87	0.67	0.18
WMAKER	0.41	0.72	0.49	0.49	0.37	0.32	0.24	0.34	0.65	1.64	1.27	0.62	0.16
NO. OF RAINY DAYS													
MEAN (days)													
TARI	5.78	9.22	11.44	10.11	11.33	12.78	11.78	12.89	8.56	1.11	2.78	3.56	101.33
WGEN	4.78	8.78	13.22	10.33	10.67	12.22	11.78	12.22	8.44	0.89	2.67	4.11	100.11
WMAKER	6.67	8.56	9.89	10.56	15.00	13.44	12.22	12.11	9.00	0.89	2.78	4.56	105.67
C.V.													
TARI	0.55	0.76	0.41	0.44	0.41	0.29	0.13	0.41	0.48	0.84	0.97	0.47	0.12
WGEN	0.59	0.60	0.38	0.28	0.44	0.43	0.27	0.27	0.33	1.19	0.82	0.49	0.08
WMAKER	0.44	0.64	0.44	0.41	0.32	0.25	0.15	0.41	0.45	0.88	0.71	0.45	0.11
NO. DAYS>=15MM													
MEAN (days)													
TARI	0.56	2.22	2.22	3.00	4.33	5.33	3.11	4.78	2.78	0.00	0.44	0.22	29.00
WGEN	0.44	2.22	2.78	3.33	4.22	6.22	3.89	5.11	3.67	0.00	0.11	0.22	32.22
WMAKER	0.22	1.67	2.44	3.00	9.00**	9.78*	5.11	9.00**	3.56	0.11	0.67	0.56	45.11**
C.V.													
TARI	1.31	1.38	0.95	0.94	0.59	0.55	0.63	0.58	0.78	0.00	1.63	1.98	0.21
WGEN	1.19	0.77	0.53	0.50	0.65	0.65	0.49	0.62	0.47	0.00	3.00	1.98	0.13
WMAKER	1.98	1.20	0.82	0.58	0.34	0.33	0.40	0.30	0.69	3.00	1.68	1.31	0.12
SOLAR RADIATION													
MEAN (MJ/m^2/day)													
TARI	11.15	11.82	13.48	14.73	15.84	16.12	17.34	17.03	16.28	15.03	12.00	10.59	14.28
WGEN	11.39	11.86	12.68	14.38	15.71	16.38	17.33	16.74	15.56	14.98	12.08	10.97	14.17
WMAKER	13.73**	14.10*	16.14**	18.15**	18.63**	20.06**	20.09**	21.16**	18.68**	19.05**	14.48**	12.44**	17.23**
C.V.													
TARI	0.11	0.21	0.13	0.17	0.09	0.12	0.08	0.15	0.13	0.07	0.10	0.10	0.06
WGEN	0.03	0.10	0.11	0.08	0.10	0.08	0.05	0.04	0.03	0.04	0.06	0.05	0.01
WMAKER	0.010	0.029	0.013	0.019	0.013	0.021	0.011	0.029	0.029	0.005	0.008	0.008	0.005
TEMPERATURE													
MAXIMUM TEMPERATURE													
MEAN (°C)													
TARI	22.33	21.98	23.72	26.92	29.96	31.89	33.56	32.80	31.86	30.48	27.38	23.62	28.04
WGEN	22.32	21.73	22.55	27.13	30.26	31.71	33.55	32.98	31.41	30.09	27.36	24.27	27.95
WMAKER	22.49	21.59	22.84	26.56	29.37	32.04	32.98*	34.22**	32.08	32.41**	27.59	22.83*	28.08
C.V.													
TARI	0.05	0.08	0.06	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.04	0.04	0.01
WGEN	0.06	0.05	0.08	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02	0.01	0.03	0.04	0.06	0.01
WMAKER	0.025	0.035	0.019	0.015	0.010	0.008	0.006	0.013	0.014	0.005	0.017	0.018	0.003
MINIMUM TEMPERATURE													

MEAN (°C)													
TARI	11.36	13.03	14.84	18.27	21.51	23.15	24.18	24.30	22.87	20.34	16.38	11.60	18.49
WGEN	11.32	13.13	14.15	18.58	21.69	22.86	24.30	24.43	22.60	20.01	16.25	11.90	18.44
WMAKER	11.66	13.03	14.74	18.27	21.59	23.23	24.01	23.29**	22.07**	18.82**	16.75	13.00**	18.37
C.V.													
TARI	0.15	0.08	0.08	0.05	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.04	0.10	0.09	0.02
WGEN	0.10	0.08	0.08	0.05	0.03	0.01	0.02	0.01	0.03	0.05	0.06	0.11	0.02
WMAKER	0.029	0.022	0.014	0.005	0.004	0.005	0.002	0.006	0.005	0.003	0.01	0.020	0.004

C.V.：Relative deviation
*：Generated values significantly different from observed values at 5% level by t-test
**：Generated values significantly different from observed values at 1% level by t-test

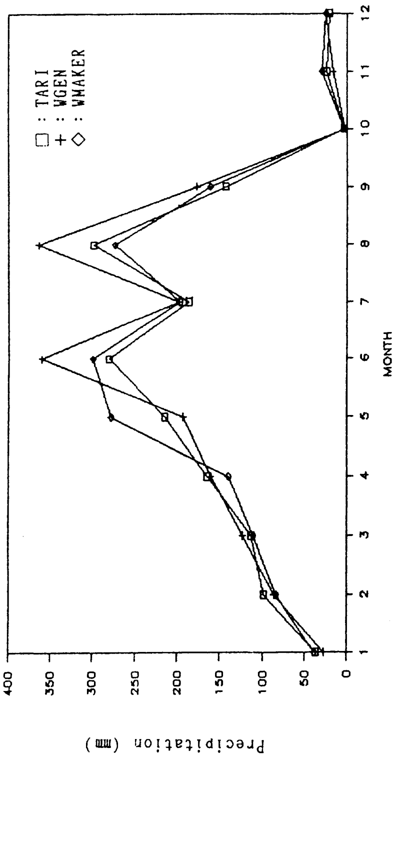
綜合以上的結果顯示，對於霧峰地區氣象變數的模擬 WGEN 較 WMAKER 具有更佳的特性，並且模擬值相當具有代表性。因此，在作物模式應用於生產潛量之評估上，即無水分、養分或土壤方面的限制時，採用 WGEN 預測每日氣象變數，以提供霧峰地區的主要產量氣象影響因子，如日射量和溫度，應是可行的。

二、WGEN 與 WMAKER 之氣象預測能力測試

以1982～1986年五年的日氣象資料爲模式氣象參數估算之基礎，再預測1987～1990年之每日氣象變數，經過統計後之四年的月平均降雨量、日射量、最高溫和最低溫和實測值之比較如圖九～十六。由於1987～1990年的實測氣象資料並未計入統計，又僅以五年的氣象資料爲基礎，因此預測值與實測值間之差異相對提高，然而與九年資料爲統計基礎之結果相似，除了 WMAKER 對日射量之預測仍有偏高趨勢，模式較能掌握的是溫度，其次是日射量，降雨量則差異較大。WGEN 在以九年資料作爲模式模擬測試時之結果，顯示模式在溫度方面具有相當高的模擬能力，但在改以五年資料爲統計基礎時，則在最高溫與最低溫之預測上仍有幾個月份差距較大（圖十三，十五），比較實測資料則發現1982～1986年這些月份之平均值與1987～1990年之平均值確實差異較大，如1982～1986年二月份五年的平均最高溫爲20.86°C，而1987～1990年四年的二月份平均最高溫爲23.38°C，相差了2.5°C，1982～1986年一月份的平均最低溫爲10.49°C，而1987～1990年爲12.45°C，相差了2.0°C，因此， WGEN 所模擬的1987～1990年四年二月份的平均最高溫與一月份的平均最低溫，都較實測平均值低。在日射量方面，也有類似的現象，如1982～1986年二月份的平均日射量爲10.11 MJ/m²/day，而1987～1990年爲13.96 MJ/m²/day，因此1987～1990年二月份平均日射量的 WGEN 模擬值亦較實測值低了很多。由此顯示以五年的資料作爲統計基礎時，雖可大致模擬溫度、日射量的季節變化，但若要預測較爲準確，則必須有更長的實測氣象資料作爲氣象參數之估算依據，才能掌握該地區的日氣象變數的變異。

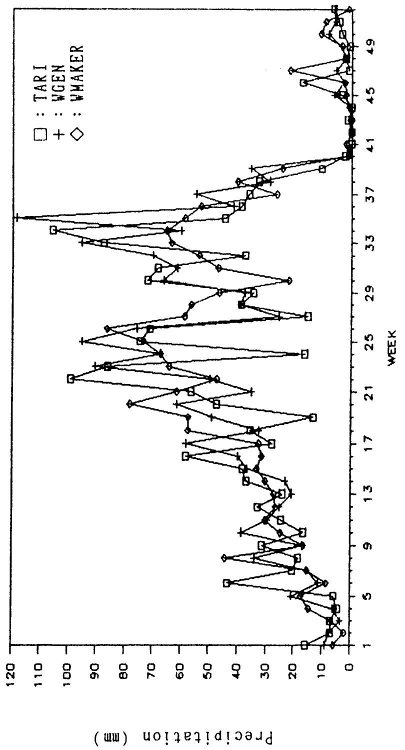
根據模式的統計理論，模式所預測的氣象變數，會隨著逢機變數而異。因此， WGEN 和 MAKER 允許使用者使用模式設定之4個逢機變數序列的起始值（seed value）或使用者可選擇其他起始值。使用模式設定之起始值的好處爲模式將按各地區的氣象參數檔和相同的逢機變數序列，每次執行都產生完全相同的日氣象變數，這會使比較性質的評估工作方便許多。當然，使用者亦可每次都輸入相同的起始值，也會達到同樣的效果。但另一方面，由於逢機變數的改變，模式所預測的日氣象變數，亦會有些更動，即日氣象預測變數，應是一個機率分佈的函數，或是一個範圍，而非僅是一個預測值，但因爲此分佈爲一常態分佈，因此本報告雖僅選擇模式設定的逢機變數序列，進行模式的測試工作，預測值仍具有實質意義。

有了氣象資料模式之後，可進一步對各氣象站資料加以分析整理。因此各地區之氣象形態可以模式代表之，其用處在於提供可預測氣象變化之依據，並且可透過函數整合，將不同數據之氣象資料結合構成一網狀分佈數據面，以利於分析等量線或預測未設氣象站地點之氣象形態（林等，1990）。



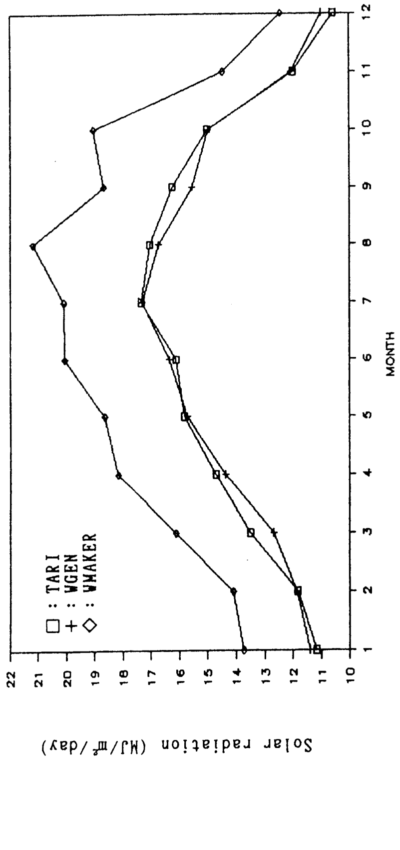
圖一、農業試驗所霧峰1982～1990年九年各月平均降雨量與 WGEN 和 WMAKER 之模擬值比較

Fig 1. Comparison on the mean monthly precipitation generated by WGEN and WMAKER and observed data from 1982 to 1990 at Taiwan Agricultural Research Institute, Wu-feng.



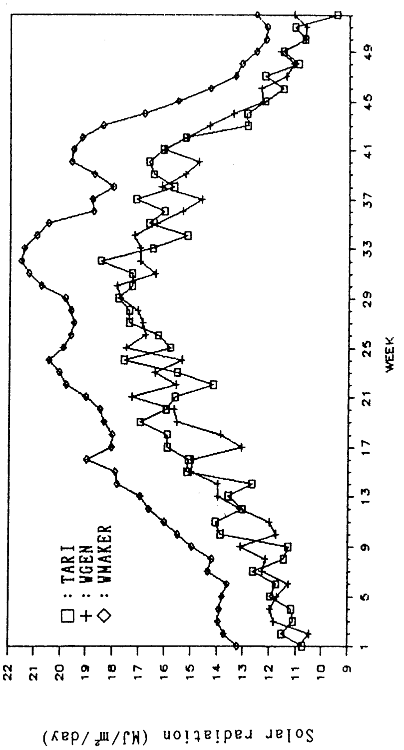
圖二、農業試驗所霧峰1982～1990年九年各週平均降雨量與 WGEN 和 WMAKER 之模擬值比較

Fig 2. Comparison on the mean weekly precipitation generated by WGEN and WMAKER and observed data from 1982 to 1990 at Taiwan Agricultural Research Institute, Wu-feng.



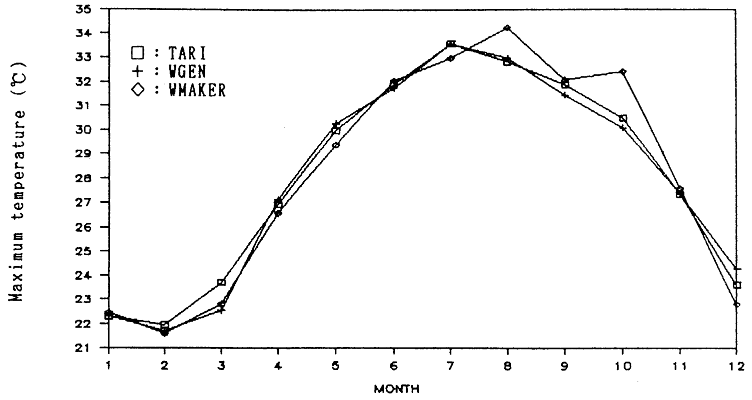
圖三、農業試驗所霧峰1982～1990年九年各月平均日射量與 WGEN 和 WMAKER 之模擬值比較

Fig 3. Comparison on the mean monthly solar radiation generated by WGEN and WMAKER and observed data from 1982 to 1990 at Taiwan Agricultural Research Institute, Wu-feng.



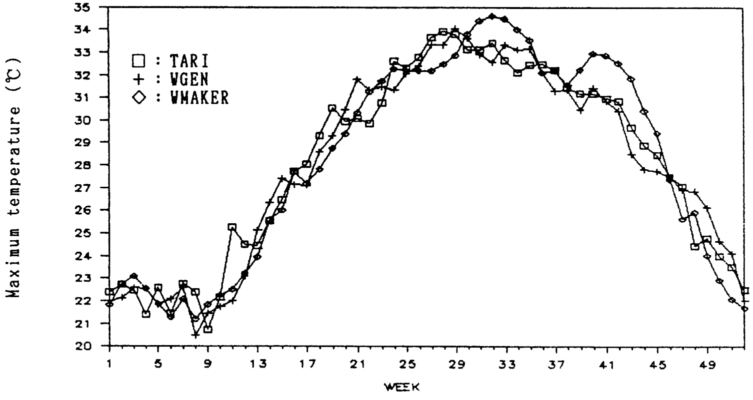
圖四、農業試驗所霧峰1982～1990年九年各週平均日射量與 WGEN 和 WMAKER 之模擬值比較

Fig 4. Comparison on the mean weekly solar radiation generated by WGEN and WMAKER and observed data from 1982 to 1990 at Taiwan Agricultural Research Institute, Wu-feng.



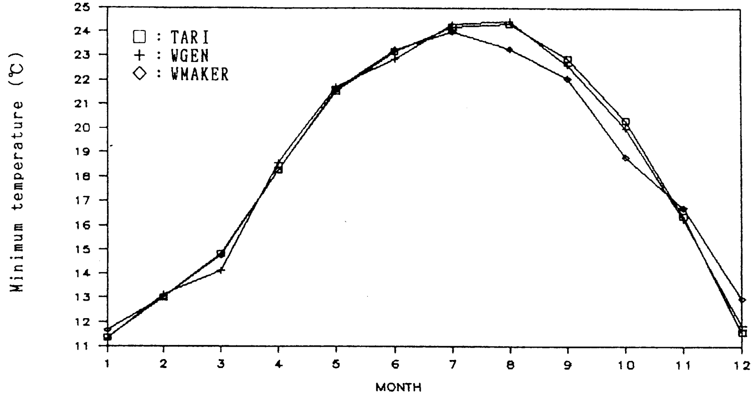
圖五、農業試驗所霧峰1982~1990年九年各月平均最高溫與 WGEN 和 WMAKER 之模擬值比較

Fig 5. Comparison on the mean monthly maximum temperature generated by WGEN and WMAKER and observed data from 1982 to 1990 at Taiwan Agricultural Research Institute, Wu-feng.



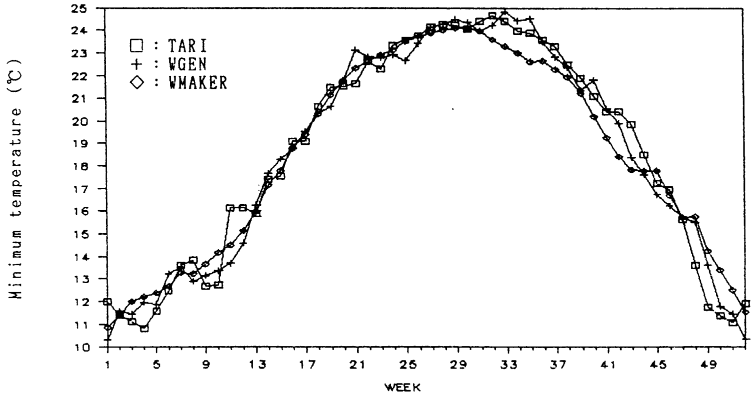
圖六、農業試驗所霧峰1892~1990年九年各週平均最高溫與 WGEN 和 WMAKER 之模擬值比較

Fig 6. Comparison on the mean weekly maximun temperature generated by WGEN and WMAKER and observed data from 1982 to 1990 at Taiwan Agricultural Research Institute, Wu-feng.



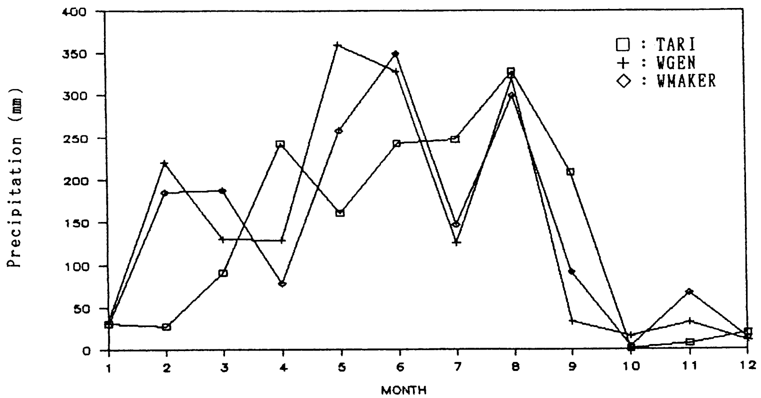
圖七、農業試驗所霧峰1982~1990年九年各月平均最低溫' WGEN 和 WMAKER 之模擬值比較

Fig 7. Comparison on the mean monthly minimum temperature generated by WGEN and WMAKER and observed data from 1982 to 1990 at Taiwan Agricultural Research Institute, Wu-feng.



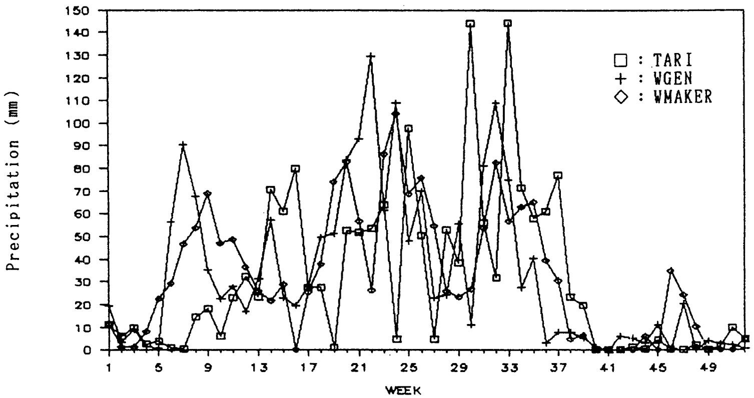
圖八、農業試驗所霧峰1982~1990年九年各週平均最低溫與 WGEN 和 WMAKER 之模擬值比較

Fig 8. Comparison on the mean weekly minimum temperature generated by WGEN and WMAKER and observed data from 1982 to 1990 at Taiwan Agricultural Research Institute, Wu-feng.



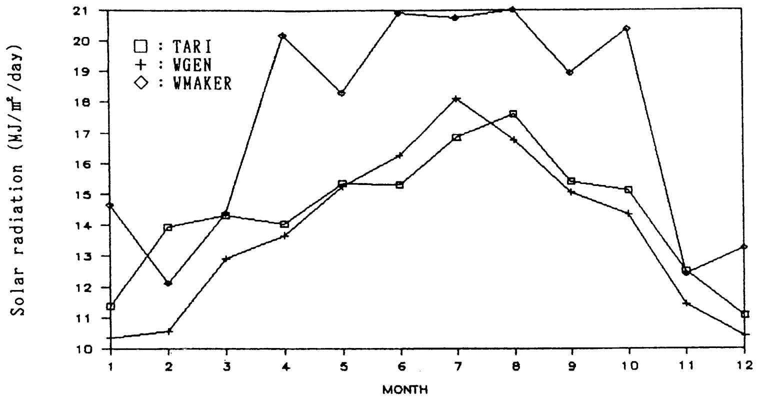
圖九、農業試驗所霧峰1987～1990年四年各月平均降雨量與 WGEN 和 WMAKER 之模擬值比較

Fig 9. Comparison on the mean monthly precipitation generated by WGEN and WMAKER and observed data from 1987 to 1990 at Taiwan Agricultural Research Institute, Wu-feng.



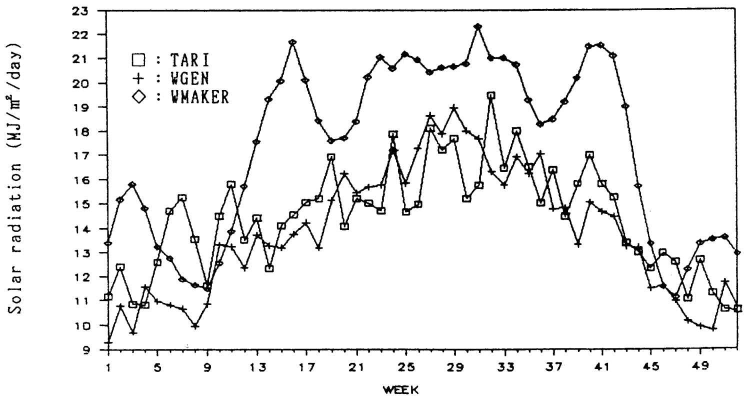
圖十、農業試驗所霧峰1987～1990年四年月各週平均降雨量與 WGEN 和 WMAKER 之模擬值比較

Fig 10. Comparison on the mean weekly precipitation generated by WGEN and WMAKER and observed data from 1987 to 1990 at Taiwan Agricultural Research Institute, Wu-feng.



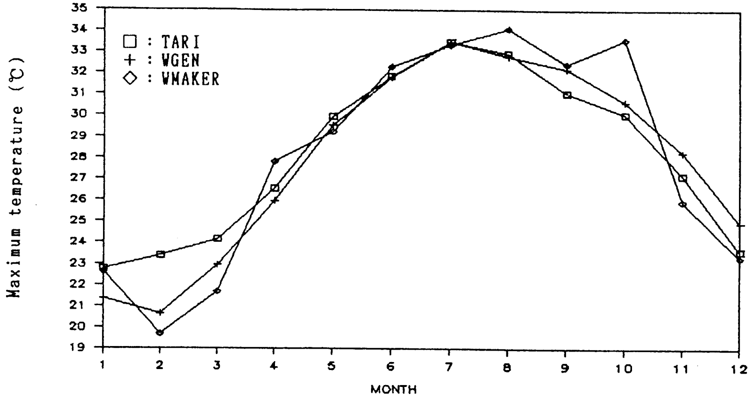
圖十一、農業試驗所霧峰1987～1990年四年各月平均日射量與 WGEN 和 WMAKER 之模擬值比較

Fig 11. Comparison on the mean monthly solar radiation generated by WGEN and MAKER and observed data from 1987 to 1990 at Taiwan Agricultural Research Institute, Wu-feng.



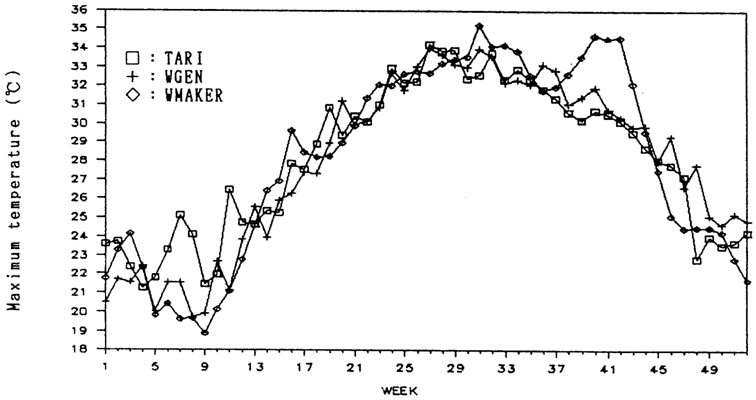
圖十二、農業試驗所霧峰1987～1990年四年各週平均日射量與 WGEN 和 WMAKER 之模擬值比較

Fig 12. Comparison on the mean weekly solar radiation generated by WGEN and WMAKER and observed data from 1987 to 1990 at Taiwan Agricultural Research Institute, Wu-feng.



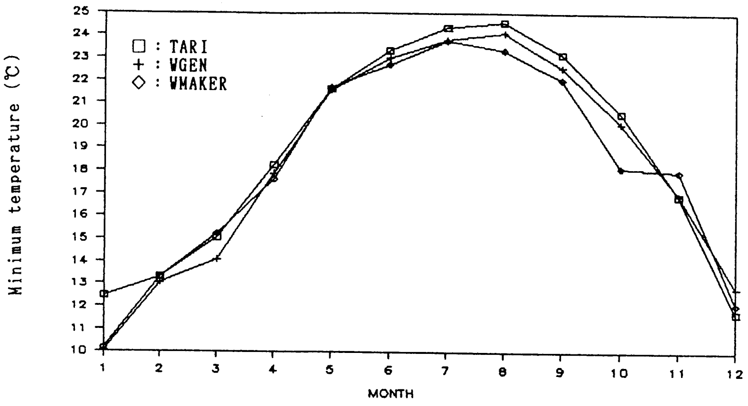
圖十三、農業試驗所霧峰1987～1990年四年各月平均最高溫與 WGEN 和 WMAKER 之模擬值比較

Fig 13. Comparison on the mean monthly maximum temperature generated by WGEN and WMAKER and observed data from 1987 to 1990 at Taiwan Agricultural Research Institute, Wu-feng.



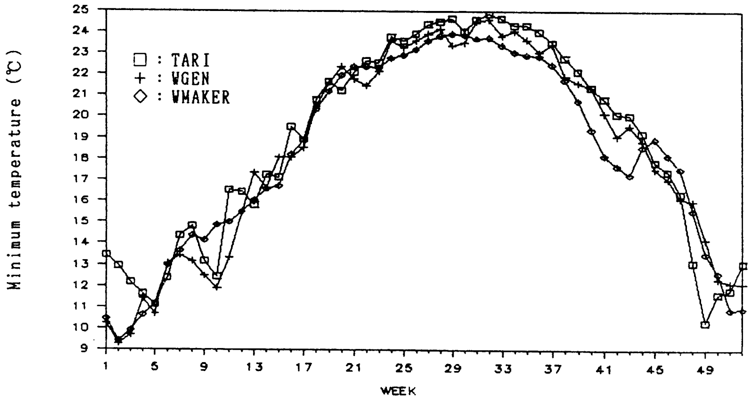
圖十四、農業試驗所霧峰1897～1990年四年各週平均最高溫與 WGEN 和 WMAKER 之模擬值比較

Fig 14. Comparison on the mean weekly maximum temperature generated by WGEN and WMAKER and observed data from 1987 to 1990 at Taiwan Agricultural Research Institute, Wu-feng.



圖十五、農業試驗所霧峰1987～1990年四年各月平均最低溫 WGEN 和 WMAKER 之模擬值比較

Fig 15. Comparison on the mean monthly minimum temperature generated by WGEN and WMAKER and observed data from 1987 to 1990 at Taiwan Agricultural Research Institute, Wu-feng.



圖十六、農業試驗所霧峰1987～1990年四年各週平均最低溫與 WGEN 和 WMAKER 之模擬值比較

Fig 16. Comparison on the mean weekly minimum temperature generated by WGEN and WMAKER and observed data from 1987 to 1990 at Taiwan Agricultural Research Institute, Wu-feng.

結 論

以臺中縣霧峰鄉農試所1982～1990年氣象資料爲統計依據，估算氣象模式 WGEN 與 WMAKER 個別的模式系統參數值，並預測各年的每日的氣象參數，以進行 WGEN 與 WMAKER 在模擬霧峰地區降雨量、日射量、最高溫與最低溫等氣象變數的適用性，並另以1982～1986年氣象資料爲統計依據，比較1987～1990年之模式預測值與實測值之差距，測試模式之預測能力。在模式模擬測試方面，以統計 T-TEST 進行氣象變數月平均與年平均比較時，結果顯示 WGEN 具有相當的適用性；而 WMAKER 在日照量的模擬與預測則較差，已達統計之極顯著差異水準。在溫度與降雨達15㎜日數之模擬亦有部分月份不佳。在模式預測能力測試上，則仍然顯示 WGEN 優於 WMAKER 。另亦顯示以5年的資料爲統計依據，雖可模擬日照量與溫度之主要季節變化，但要確實的掌握每日氣象變數的變異，以準確的預測每日的氣象變數，則需要更長的實測氣象資料爲統計基礎。綜合以上結論，以九年的氣象資料爲統計依據，採用 WGEN 作爲每日氣象變數的預測模式，以應用於霧峰地區作物生產潛量之評估應是可行的。

參考文獻

1. 林正錺、葉明智・1990・簡易氣象資料模式用於估算作物需水潛量之研究・中華農學會報. 新152：1－12.
2. Bond, D. C. 1979. Generating daily weather values by computer simulation techniques for crop yield forecasting models. USDA-SRS (formerly USDA-ESCS), Statis. Res. Div., Washington, D. C., P. 38.
3. Bruhn, J. A., W. E. Fry, and G. W. Fick. 1980. Simulation of daily weather data using theoretical probability distributions. J. Appl. Meteor. 19：1029－1036.
4. Finklin, A. I. 1983. Summarizing weather and climatic data-a guide for wildland managers. USDA. Forest Serv. INT-148, p.43.
5. Jones, J. W., R. F. Colwick, and E. D. Threadgill. 1972. A simulated environmental model of temperature, evaporation, rainfall, and soil moisture. Trans. ASAE 15：366－372.
6. Keller, A. A. 1982. Development and analysis of an irrigation scheduling program with emphasis on forecasting consumptive use. Master Thesis, Utah State University.
7. Keller, A. A. 1987. Modeling command area demand and response to water delivered by the main system. Agricultural and Irrigation Engineering Department, Utah State University, Ph. D. dissertation, p. 224.
8. Larsen, G. A. and R. B. Pense. 1981. Stochastic simulation of daily climatic data. USDA－SRS, Statis. Res. Div. Rpt. No. AGES810831. Washington, D. C.
9. Nicks, A. D. and J. F. Harp. 1980. Stochastic generation of temperature and solar radiation data. J. Hydrology. 48：1－17.
10. Richardson, C. W. 1981. Stochastic simulation of daily precipitation, temperature, and solar radiation. Water Resources Res. 17：182－190.
11. Richardson, C. W. 1982a. A comparison of three distributions for the generation of daily rainfall amount. In Singh, V. P. (ed.), Statistical analysis of Rainfall-Runoff, p.67－78, Proc, Int. Symp. on Rainfall -runoff Modeling, Water Resources Publications.
12. Richardson, C. W. 1982b. Dependence structure of daily temperature and solar radiation. Trans. ASAE 25：735－739.
13. Richardson, C. W., and D. A. Wright. 1984. WGEN: A model for generating daily weather variables. U. S. Department of Agriculture, Agricultural Res. Service, ARS－8, p. 80.

Applicable Measurement and Analysis of Climatic Data Models[1]

Chi-Ling Chen[2], Kung-Shy Chi[3], Chen-Fang Lin[4]

Summary

Daily weather data are required for many applications and assessments. Two computer simulation models, namely, WGEN and WMAKER, were used to generate the daily precipitation, solar radiation, maximum temperature, and minimum temperature. This study tests the simulation accuracy of the models, based on the daily weather data collected at Taiwan Agricultural Research Institute, Wu-feng, Taiwan from 1982 to 1990. This study also tests their predictability, based on the weather data from 1982 to 1987, on predicting the weather data of the next four years. The statistical t-tests of mean monthly and annual weather variables revealed that applying WGEN on simulating and predicting the daily weather data at Wu-feng, Taiwan are highly acceptable, although WMAKER does not promise well for the test especially in the simulation of solar radiation. In conclusion, it is suitable to apply WGEN as weather generator, as was proved by analyzing the nine years historical weather data at Taiwan Agricultural Research Institute, Wu-feng.

Key words : WGEN, WMAKER, weather model, weather prediction.

---

1. Contribution No. 1589 from Taiwan Agricultural Research Institute (TARI).
2. Assistant, Department of Agricultural Chemistry, TARI.
3. Assistant, Department of Agricultural Engineering, TARI, Wufenf 41301, Taichung, Taiwan, ROC.
4. Professor, Department of Soil Science, National Chung Hsing University, Taichung 40227, Taiwan, ROC.